

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: July 18, 2000

Application Number: P2000-217113

Applicant(s): VICTOR COMPANY OF JAPAN, LIMITED

June 7, 2001

Commissioner,
Patent Office

Kozo Oikawa

Number of Certification: 2001-3053430



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

U.S. PTO
09/903573

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月18日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-217113

出 願 人

Applicant(s):

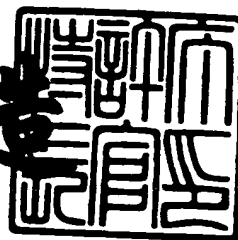
日本ビクター株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2001年 6月 7日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



【書類名】 特許願

【整理番号】 412000674

【提出日】 平成12年 7月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04L 27/30
G06F 17/14

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地 日本ビクター株式会社内

【氏名】 高岡 勝美

【特許出願人】

【識別番号】 000004329

【氏名又は名称】 日本ビクター株式会社

【代表者】 守随 武雄

【電話番号】 045-450-2423

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003654

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
 【発明の名称】 再帰型離散フーリエ変換装置
 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、
 (N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた
 データ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給さ
 れる N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を
 行なって得られる次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)における複素フ
 ーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリ
 エ変換装置において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ を一時記憶する第1の一時記憶
 手段と、

その第1の記憶手段に一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、
 及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段と、

その離散フーリエ演算手段より得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を一時記憶する第2の一時記憶手段と、

を具備し、

前記離散フーリエ演算手段を、時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x(t+N)$ と、第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x(t)$ との差のデータ値を得る
 減算部と、

その得られた差のデータ値に対して、予め定められた振幅を与えるための定数
 値 A を乗算して所定振幅の信号を得る定数乗算部と、

その定数乗算部より得られた所定振幅の信号と、前記第2の一時記憶手段に一
 時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の一方の
 信号を加算し、加算信号を得る加算部と、

その加算部より得られた加算信号と、前記第2の一時記憶手段に一時記憶され

た複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の他方の信号と、が供給され、それらの信号に基底周波数に基づく定数を用いて演算処理を行い、時刻 $t+1$ における複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を得る基底関数演算処理部で構成したことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【請求項 2】

間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、(N は 1 以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は 0、又は N より小さな正の整数)に対する複素フーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ を一時記憶する第 1 の一時記憶手段と、

その第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段と、

その離散フーリエ演算手段より得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を一時記憶する第 2 の一時記憶手段と、

を具備し、

前記離散フーリエ演算手段は、複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、次式により算出して得るようにしたことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【数 1】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x(t+N) - x(t)] \right\} \\ \times \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + X_i(k, t) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

$$X_i(k, t+1) = X_i(k, t) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x(t+N) - x(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

(但し、Aは $[x(t+N) - x(t)]$ に振幅値を与えるための正の定数)

【請求項 3】

間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、
(N は1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られた
データ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数の次数 k (k は0、又は N より小さな正の整数)を用いて複素フーリエ変換を行ない、複数の組の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ を一時記憶する第1の一時記憶手段と、

その第1の記憶手段に一時記憶されたデータ列の、複数の k の値に対応するそれぞれの複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段と、

それらの、それぞれの k の値に対応する離散フーリエ演算手段より得られた複数の組の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ のそれぞれを一時記憶する第2の一時記憶手段と、

を具備し、

前記複数の離散フーリエ演算手段のそれぞれを、時刻 $t + N$ において供給されるデータ値 $x(t + N)$ と、第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x(t)$ との差のデータ値を得る減算部と、

その得られた差のデータ値に対して、予め定められた振幅を与えるための定数値 A を乗算して所定振幅の信号を得る定数乗算部と、

その定数乗算部より得られた所定振幅の信号と、前記第 2 の一時記憶手段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の一方を加算し、加算信号を得る加算部と、

その加算部より得られた加算信号と、前記第 2 の一時記憶手段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の他方の信号とが供給され、それらの信号に基底周波数に基づく定数を用いて演算処理を行い、時刻 $t + 1$ における所定の k に対する複素フーリエ係数 $X_r(k, t + 1)$ 、及び $X_i(k, t + 1)$ を得る基底関数演算処理部とで構成したことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【請求項 4】

間隔が一定である時刻 t 、 $t + 1$ 、 $t + 2$ 、 $t + 3$ 、 \dots 、 $t + N - 1$ 、 $t + N$ 、(N は 1 以上の正の整数) のそれぞれの時点においてサンプリングして得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t + 1)$ 、 $x(t + 2)$ 、 $x(t + 3)$ 、 \dots 、 $x(t + N - 1)$ 、 $x(t + N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数の次数 k (k は 0、又は N より小さな正の整数) を用いて複素フーリエ変換を行ない、複数組の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t + N - 1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t)$ 、 $x(t + 1)$ 、 $x(t + 2)$ 、 $x(t + 3)$ 、 \dots 、 $x(t + N - 1)$ を一時記憶する第 1 の一時記憶手段と、

その第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ列の、複数の k の値に対応するそれぞれの複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段

と、

それらの、それぞれの k の値に対応する離散フーリエ演算手段より得られた複
数組の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ のそれぞれを一時記憶する第 2
の一時記憶手段と、

を具備し、

前記複数の離散フーリエ演算手段のそれぞれを、時刻 $t + N$ において供給され
るデータ値 $x(t + N)$ と、第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x(t)$ との
差のデータ値を得る共通の減算部と、

その減算部より得られた差のデータ値に対して、予め定められた振幅を与える
ための定数値 A を乗算して所定振幅の信号を得る共通の定数乗算部と、

その共通の定数乗算部より得られた所定振幅の信号と、前記第 2 の一時記憶手
段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の
一方の信号を加算し、加算信号を得る加算部と、

前記一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$
の他方の信号を供給する第 2 の一時記憶手段と、

前記加算部よりの加算信号、及び前記第 2 の一時記憶手段よりの複素フーリエ
係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の他方の信号が供給され、これらの
信号にそれぞれの k の値に対応する基底周波数に基づく定数を用いて演算処理を
行い、時刻 $t + 1$ におけるそれぞれの次数 k に対する複数組の複素フーリエ係数 X_r
($k, t + 1$)、及び $X_i(k, t + 1)$ を得る基底関数演算処理部とで構成したことを特徴
とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【請求項 5】

前記それぞれの k の値に対応する複数の複素フーリエ係数は、 N 個の k の値に
対応する複素フーリエ係数を出力するように構成することを特徴とする請求項 3
、又は 4 に記載の再帰型離散フーリエ変換装置。

【請求項 6】

前記 $x(t + N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための正の
定数値 A は、1、 N の平方根、又は N などの値を選択的に設定可能であることを
特徴とする請求項 1、2、3、又は 4 に記載の再帰型離散フーリエ変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フーリエ変換の演算装置に関し、特に簡易な演算処理によるフーリエ変換を行い、フーリエ変換の演算結果を短時間に得るための演算装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来より、時系データ列の周波数分析等に用いるフーリエ変換手法は音響信号処理分野、医療用機器の画像データ処理分野等における信号のスペクトル解析の外に、音響信号や画像信号の高圧縮符号化方式に、さらには通信分野における変調、復調技術として幅広く用いられている。

【0003】

そのフーリエ変換手法は、デジタル量として標本化されたデータ列を、 N 個（ N は整数値、例えば1024）の集団として扱い、その N 個のデータ列が存在する時間間隔を窓期間とするとともに、その窓期間を基本周波数とし、その窓期間に存在するデータ列の信号成分を基本周波数の高調波信号の実数部成分、及び虚数部成分として求めるものである。

【0004】

そして、この様にして扱うデータ列が、所定の期間毎に標本化された離散的なデータ列として扱われ、その離散データに対するフーリエ変換を行う手法は離散フーリエ変換（DFT；Discrete Fourier Transform）と呼ばれ、その離散フーリエ変換技術は、例えば製造工程の状態を離散データにより得て、その得られたデータを分析することにより工程品質を最良に保ち、製造される製品の良品率を向上させるといったような制御技術の中での分析技術としても利用されるなど、その応用分野は年々広げられている。

【0005】

この様にしてなされる離散フーリエ変換技術は、供給される信号を一定時間間隔でサンプリングし、そのサンプリングして得られる電圧値を標本化されたデー

タとして得、その得られたデータの集合であるデータ列が、所定の時間 t において得られる N 個のデータが $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 \dots 、 $x(t+N-2)$ 、 $x(t+N-1)$ であるとき、その N 個のデータに対して求められる離散フーリエ変換の値 $X(k, t)$ は次式で定義される。

【0006】

【数2】

$$\begin{aligned}
 X(k, t) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \exp \left\{ -j 2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right\} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} \left\{ x_r(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\
 &\quad \left. + x_i(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
 &\quad + j \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} \left\{ -x_r(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\
 &\quad \left. + x_i(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\
 &\dots\dots\dots \text{式(1)}
 \end{aligned}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【0007】

この式からも分かるように、フーリエ変換は供給されるデータ列に対し求めるポイント毎に固有の基底関数を畳み込むようにして行われ、その基底関数を畳み込む演算を、多数の乗算処理により行うようにしている。

【0008】

このようにして、その乗算処理を専用の乗算回路により、又はDSP (Digital signal processor) などを用いて行う場合などは、これらの乗算回路、ないしはDSPなどの演算のために使用されるハードウェアに対する負担が非常に大きいことが知られている。

【0009】

その乗算処理にする負担は、前述の式(1)で表される変換式による場合、 $4N^2$ 回の乗算を必要とし、例えばNが1024である場合の乗算回数は約420万回となってしまうため、この回数の乗算を行うための回路規模は大きくなり、演算処理の負担が非常に大きくなり、さらにデータ列として取り扱うポイント数Nが大きくなると乗算処理回数も2乗倍で増加するなど好ましくない。

【0010】

そこで通常は、離散フーリエ変換式について、基底関数が周期的な関数から成っていることを利用し、その規則性に着目して行列の変形を行うことにより演算効率を高めたFFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) が利用されるようになっている。

【0011】

そのFFTには、バタフライ演算といわれる演算手法が用いられており、そのバタフライ演算は、簡単な整数値である、例えば2を基数として定義し、供給される2値の複素データに対して加算、減算、乗算の複素演算を各1回ずつ行い、2値の複素データを出力するように構成している。

【0012】

従って、NポイントのFFTは、 $\log_2 N$ 段のステージと、 $(N/2)\log_2 N$ 個のバタフライ演算により構成されており、 $(2N)\log_2 N$ 回の乗算処理回数によりFFTの演算結果を得ることができるなど、演算効率の高いフーリエ変換として用いられている。

【0013】

通常は、この様にしてなされるFFT、もしくはDFT (Discrete Fourier Transform: 離散フーリエ変換) が用いられて、一定時間間隔で逐次サンプリングされて供給されるデータ列に対してフーリエ変換が行われるが、そのフーリエ変換は、サンプリングされ、標本化されたデータ列を順次メモリ回路に一時記憶しつつ、そのメモリ回路に一時記憶されたデータ数がN個となったとき、そのN個のデータに対するフーリエ変換処理を開始するようにしている。

【0014】

その変換処理を行っている期間はメモリ回路に一時記憶されたデータは記憶さ

れたままの状態に保たれたままフーリエ変換処理がなされ、演算処理が終了した時点で、再度新しいデータをメモリ回路に供給して一時記憶し、N個の所定量のデータが記憶された後に次の変換処理を開始する様にしている。

【0015】

しかし、フーリエ演算処理を行っているときにもデータは休みなく供給されるため、連続して供給されるデータ処理を、別系統としてN個のデータ列を蓄えるメモリ回路を設けておき、N個のデータが供給される毎に、交互に一時記憶処理と演算処理を行なうようにして、連続的に時系列データに対するフーリエ変換処理を行なう方法もとられている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】

このようにしてなされるフーリエ変換は、N個の一時記憶されたデータ列に対して、すなわちデータ列をブロック単位として扱いながら演算処理を行うため、このようにしてなされるフーリエ変換処理では少なくともN個分のデータ列に相当する遅延時間が生じてしまい、リアルタイムに変換処理結果を得ることはできない。

従って、データ列は逐次的に供給されるものの、フーリエ解析した結果はN個のサンプリング時間間隔毎にしか得られないこととなる。

【0017】

これに対し、逐次供給される、サンプリングされる新たなデータを含むNポイントのデータ列に対してフーリエ変換処理を行い、サンプリングされたデータが供給される毎にフーリエ変換処理した結果を得るためには、その1サンプリング期間内にNポイントのフーリエ変換処理を行わなければならないこととなり、このような高速演算処理用に開発されたFFT演算手法を用いる場合でも、そのFFTから連続して演算されたフーリエ変換結果を得るためには、N倍の演算処理速度が要求され、そのような超高速なFFTを行ない、得られた演算結果を供給することは通常の場合は困難である。

【0018】

フーリエ変換は、一般にFFT演算処理手法が用いられるが、そのFFT演算

処理はサンプリング周波数が f_s で量子化されて供給される N ポイントのデータ列に対して、通常は f_s/N の周波数間隔で演算処理を行う。

【0019】

一般には、演算処理中に供給される時系列データに対しても連続してフーリエ解析処理がなされるよう、フーリエ変換処理中にも他のバッファメモリにデータを取り込むようにし、一方のバッファメモリに一時記憶されたデータを演算処理している期間に他方のバッファメモリに供給されるデータを取り込み、 N 個のデータ取り込みを終了した時点で演算処理とデータ取り込み処理を切り換えてフーリエ演算処理を行なう方法はあるが、この場合は2組のバッファメモリとFFT演算処理手段が必要となり経済的に好ましい方法ではない。

【0020】

またこの方法では、供給される N 個の時系列データを纏めて扱うブロック処理である為、取り込まれた N ポイントのデータに対するフーリエ変換結果が出力されるのは N サンプリング時間後であり、そのときに得られる解析結果は N サンプル毎のフーリエ変換処理結果のみしか出力されない。

【0021】

このようにして、逐次新たにサンプリングされて供給されるデータを含む最新の N ポイントのデータに対するフーリエ変換結果をリアルタイムに出力することは出来なく、リアルタイムに変換結果を出力するためには上述のようなサンプリング期間毎のフーリエ変換処理が必要であるが、1サンプリング時間間隔で連続してフーリエ変換を行うことは、単位時間当りの演算量が膨大となり現実的ではない。

【0022】

一方、連続してフーリエ変換処理された演算結果を得る方法として、特開平1-59454「フーリエ変換装置及びフーリエ変換法」が提案されている。

この公報には、サンプリングされて供給される振動波形値をフーリエ変換する方法について記述されているが、同変換法は新しく供給される振動波形値と、既に供給されフーリエ演算処理に用いられた古い振動波形値との差の値を求め、既に演算処理されて得られている古い複素振幅値より新しい複素振幅値を、振動波

形のサンプリング値が供給される毎に得るというものである。

【0023】

しかし、連続的にフーリエ変換を行う手法についてその特開平1-59454号公報「フーリエ変換装置及びフーリエ変換法」が開示している、連続的にフーリエ変換を行うことが出来ることを利用したアプリケーションとして周波数解析などが考えられるが、そのようなアプリケーションを考慮した場合、任意の周波数帯域を任意の解像度で解析する要求もある。

【0024】

また、特開平3-63875号公報には「巡回形技術を用いた離散的フーリエ変換の計算方式」が開示されており、同公報には超音波診断装置でエネルギー・スペクトル計算を行うための離散フーリエ変換について記述されており、巡回形フィルタ操作により標本化データフィルタを用いて連続的に計算される離散フーリエ変換について述べている。

【0025】

しかしながら、これに開示の発明では、複素データを入力として構成される回路の実現方法について記述してあるが、周波数解析などの分野において用いられる時系列データとして供給される信号を対象として変換処理を行う、実数信号のみが供給される簡易な構成による巡回型フーリエ変換手法については考えられていない。

【0026】

そこで本発明は、フーリエ解析を供給される実数信号に対して簡易的な方法で構成する再帰型離散フーリエ変換装置、及びその周波数解析は所望する任意の解像度を有して変換を行うのに適す再帰型離散フーリエ変換装置を提供しようとするものである。

【0027】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を解決するために以下の1)～6)の手段より成るものである。

すなわち、

【 0 0 2 8 】

1) 間隔が一定である時刻 $t, t+1, t+2, t+3, \dots, t+N-1, t+N$ 、(Nは1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られたデータ値 $x(t), x(t+1), x(t+2), x(t+3), \dots, x(t+N-1), x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給されるN個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k (k は0、又はNより小さな正の整数)における複素フーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t), x(t+1), x(t+2), x(t+3), \dots, x(t+N-1)$ を一時記憶する第1の一時記憶手段(11)と、

その第1の記憶手段に一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段(3)と、

その離散フーリエ演算手段より得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を一時記憶する第2の一時記憶手段(4)と、

を具備し、

前記離散フーリエ演算手段を、時刻 $t+N$ において供給されるデータ値 $x(t+N)$ と、第1の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x(t)$ との差のデータ値を得る減算部(12)と、

その得られた差のデータ値に対して、予め定められた振幅を与えるための定数値 A を乗算して所定振幅の信号を得る定数乗算部(31)と、

その定数乗算部より得られた所定振幅の信号と、前記第2の一時記憶手段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の一方の信号を加算し、加算信号を得る加算部(36)と、

その加算部より得られた加算信号と、前記第2の一時記憶手段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の他方の信号と、が供給され、それらの信号に基底周波数に基づく定数を用いて演算処理を行い、時刻 $t+1$ における複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を得る基底関数

演算処理部（30）で構成したことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0029】

2) 間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ 、（ N は1以上の正の整数）のそれぞれの時点においてサンプリングして得られたデータ値 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対して複素フーリエ変換を行なって得られる次数 k （ k は0、又は N より小さな正の整数）に対する複素フーリエ係数として、その実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ を一時記憶する第1の一時記憶手段（11）と、

その第1の記憶手段に一時記憶されたデータ列の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段（3）と、

その離散フーリエ演算手段より得られた複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を一時記憶する第2の一時記憶手段（4）と、

を具備し、

前記離散フーリエ演算手段（3）は、複素フーリエ係数 $X_r(k, t+1)$ 、及び $X_i(k, t+1)$ を、次式により算出して得るようにしたことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0030】

【数 3】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x(t+N) - x(t)] \right\} \\ \times \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + X_i(k, t) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

$$X_i(k, t+1) = X_i(k, t) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{A} [x(t+N) - x(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

(但し、Aは $[x(t+N) - x(t)]$ に振幅値を与えるための正の定数)

【0 0 3 1】

3) 間隔が一定である時刻 $t, t+1, t+2, t+3, \dots, t+N-1, t+N$ 、(Nは1以上の正の整数)のそれぞれの時点においてサンプリングして得られたデータ値 $x(t), x(t+1), x(t+2), x(t+3), \dots, x(t+N-1), x(t+N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給されるN個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数の次数 k (k は0、又はNより小さな正の整数)を用いて複素フーリエ変換を行ない、複数の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t+N-1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t), x(t+1), x(t+2), x(t+3), \dots, x(t+N-1)$ を一時記憶する第1の一時記憶手段(11)と、

その第1の記憶手段に一時記憶されたデータ列の、複数の k の値に対応するそれぞれの複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段(3)と、

それらの、それぞれの k の値に対応する離散フーリエ演算手段より得られた複数の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ のそれぞれを一時記憶する第2の一時記憶手段(4)と、

を具備し、

前記複数の離散フーリエ演算手段のそれぞれを、時刻 $t + N$ において供給されるデータ値 $x(t + N)$ と、第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x(t)$ との差のデータ値を得る減算部 (12) と、

その得られた差のデータ値に対して、予め定められた振幅を与えるための定数値 A を乗算して所定振幅の信号を得る定数乗算部 (31) と、

その定数乗算部より得られた所定振幅の信号と、前記第 2 の一時記憶手段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の一方を加算し、加算信号を得る加算部 (36) と、

その加算部より得られた加算信号と、前記第 2 の一時記憶手段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の他方の信号とが供給され、それらの信号に基底周波数に基づく定数を用いて演算処理を行い、時刻 $t + 1$ における所定の k に対する複素フーリエ係数 $X_r(k, t + 1)$ 、及び $X_i(k, t + 1)$ を得る基底関数演算処理部 (30) とで構成したことを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0032】

4) 間隔が一定である時刻 $t, t + 1, t + 2, t + 3, \dots, t + N - 1, t + N$ 、(N は 1 以上の正の整数) のそれぞれの時点においてサンプリングして得られたデータ値 $x(t), x(t + 1), x(t + 2), x(t + 3), \dots, x(t + N - 1), x(t + N)$ が供給され、その供給されたデータ値に対する時刻 t から供給される N 個のデータ値をデータ列とし、そのデータ列に対し、複数の次数 k (k は 0、又は N より小さな正の整数) を用いて複素フーリエ変換を行ない、複数列の複素フーリエ係数として、それぞれの係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ変換装置において、

時刻 $t + N - 1$ において時刻 t から供給されたデータ列 $x(t), x(t + 1), x(t + 2), x(t + 3), \dots, x(t + N - 1)$ を一時記憶する第 1 の一時記憶手段 (11) と、

その第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ列の、複数の k の値に対応するそれぞれの複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ を得る離散フーリエ演算手段

(3) と、

それらの、それぞれの k の値に対応する離散フーリエ演算手段より得られた複
数組の複素フーリエ係数 $X_r(k, t)$ 、及び $X_i(k, t)$ のそれぞれを一時記憶する第 2
の一時記憶手段 (4) と、

を具備し、

前記複数の離散フーリエ演算手段のそれぞれを、時刻 $t + N$ において供給され
るデータ値 $x(t + N)$ と、第 1 の記憶手段に一時記憶されたデータ値 $x(t)$ との
差のデータ値を得る共通の減算部 (1) と、

その減算部より得られた差のデータ値に対して、予め定められた振幅を与える
ための定数値 A を乗算して所定振幅の信号を得る共通の定数乗算部 (3 1) と、

その共通の定数乗算部より得られた所定振幅の信号と、前記第 2 の一時記憶手
段に一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の
一方の信号を加算し、加算信号を得る加算部 (3 6) と、

前記一時記憶された複素フーリエ係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$
の他方の信号を供給する第 2 の一時記憶手段 (4) と、

前記加算部よりの加算信号、及び前記第 2 の一時記憶手段よりの複素フーリエ
係数の実数値 $X_r(k, t)$ 、又は虚数値 $X_i(k, t)$ の他方の信号が供給され、これらの
信号にそれぞれの k の値に対応する基底周波数に基づく定数を用いて演算処理を
行い、時刻 $t + 1$ におけるそれぞれの次数 k に対する複数組の複素フーリエ係数 X_r
($k, t + 1$)、及び $X_i(k, t + 1)$ を得る基底関数演算処理部 (3 0) とで構成したこ
とを特徴とする再帰型離散フーリエ変換装置。

【0033】

5) 前記それぞれの k の値に対応する複数の複素フーリエ係数は、 N 個の k の
値に対応する複素フーリエ係数を出力するように構成することを特徴とする 3)
、又は 4) 項に記載の再帰型離散フーリエ変換装置。

【0034】

6) 前記 $x(t + N)$ と、前記 $x(t)$ との差の値に対する振幅値を与えるための
正の定数値 A は、1、 N の平方根、又は N などの値を選択的に設定可能であるこ
とを特徴とする 1)、2)、3)、又は 4) 項に記載の再帰型離散フーリエ変換

装置。

【0035】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の再帰型離散フーリエ変換装置の実施の形態につき、好ましい実施例により説明する。

図1は、その実施例に係る再帰型離散フーリエ変換装置の構成を概略示したものであり、同図と共に説明する。

【0036】

その再帰型離散フーリエ変換装置は一定時間間隔でサンプリングされたデータが供給され、供給された最新のN個（Nは正の整数）のデータを一時記憶するデータ更新部1と、離散フーリエ変換を行なうための基底周波数を設定する基底周波数設定部2と、再帰型DFT演算を行なう再帰型DFT演算部3と、演算されたデータを一時記憶するメモリ部4とより構成される。

【0037】

次に、この様に構成される再帰型離散フーリエ変換装置の動作について説明する。

まず、供給されるデータは図示しないサンプリング回路により一定時間間隔でサンプリングされ、サンプリングされて量子化された離散データがデータ更新部1に供給される。

【0038】

そのサンプリング回路は、間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ （Nは自然数）において供給されるデータ値のサンプリングを行ない、その時刻に供給されているデータ値をそれぞれの時刻に対応したサンプリング値としてデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ を生成する。

【0039】

このサンプリング回路の動作は、供給されるアナログ信号をデジタル信号に変換するA/D変換器の動作と同様であり、サンプリング周波数の逆数で与えられる一定時間間隔で供給されるアナログ信号電圧値をデジタル信号値に変換するも

のであり、変換されたデジタル信号値はパルス振幅変調信号を与えるアナログ電圧と相似の関係にある電圧であったり、あるいはその電圧値を2進数のデジタル値で表現するものであったりする。

【0040】

このようにして、データ更新部1には、時刻 t でサンプリングされたサンプリングデータ $x(t)$ 、時刻 $t+1$ における $x(t+1)$ 、 $\dots\dots\dots$ 、時刻 $t+N-1$ における $x(t+N-1)$ 、時刻 $t+N$ における $x(t+N)$ が供給される。

【0041】

データ更新部1は、供給されるデータのうち、最新に供給されるデータ数 N 個(N は正の整数)のデータを更新しつつ一時記憶する。

即ち、供給されるデータが $x(t)$ より開始され、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ のように供給されるときは、供給されたデータ $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ の全てを一時記憶し、その一時記憶の動作はデータ $x(t+N-1)$ が入来するまで継続し、 $x(t+N-1)$ のデータが入来した段階で総データ数は N 個となりデータ更新部のデータ領域がフルとなる。

【0042】

このような状態で、次のデータ $x(t+N)$ が供給されるときは、総データ数が $N+1$ 個となるため、データ更新部1は $x(t+N)$ より $x(t)$ を減算し、減算して得られるデータを再帰型DFT演算部3に供給するとともに、一番古いデータ $x(t)$ をメモリ部より削除し、データ更新部1は $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 $\dots\dots\dots$ 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ の N 個のデータを一時記憶する。

【0043】

同様にして、データ更新部1は、次のデータ $x(t+N+1)$ が供給されるときはデータ $x(t+N+1) - x(t+1)$ を求めて再帰型DFT演算部3に供給するとともに、 $x(t+1)$ をメモリより削除するようにし、常に供給されるデータの最新の N 個をデータ更新部1に一時記憶する。

【0044】

このようにして、一時記憶される N 個のデータは再帰型DFT演算部に供給され、その再帰型DFT演算部は基底周波数設定部2で設定される周波数解像度情

報に従って、及びメモリ回路4に一時記憶された1サンプル前のFFT演算結果は再起型DFTに再帰データとして供給され、後述の方法により再帰型離散フーリエ変換演算が行なわれ、その演算結果が出力されるようになされている。

【0045】

次に、この再帰型離散フーリエ演算処理方法について、従来から行なわれているフーリエ演算処理をも参照しつつ、さらに詳細に説明する。

図2に、供給される信号波形をサンプリング期間 t_s でサンプリングして得られるデータ値と、それに対するDFT演算の関係を模式的に示し、説明する。

【0046】

同図において、時間 t より一定のサンプリング期間 t_s でサンプリングされた N 個の実数データ値、 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ の集合、及び時間 $t+1$ よりサンプリングされて得られる N 個の実数データ値、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ の集合を示してある。

【0047】

そして、その時間 t よりサンプリングされた N 個の実数データ値であるデータ列に対して求められる離散フーリエ変換の値 $X(k, t)$ は次に示す式(2)で定義される。

【0048】

【数 4】

$$\begin{aligned}
 X(k, t) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \exp \left[-j 2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(2)} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \\
 &\quad - j \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \\
 &= X_r(k, t) - j X_i(k, t)
 \end{aligned}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【 0 0 4 9】

このようにして定義された、任意の時間 t より供給されたサンプリングデータ列、 $x(t) \sim x(t+N-1)$ の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ の変換を式 (3)、(4) のように定義する。

【 0 0 5 0】

【数 5】

$$X_r(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

$$X_i(k, t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t}^{t+N-1} x(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

for $k = 0, 1, \dots, N-1$

【 0 0 5 1】

このようにして時間 t より供給されたサンプリングデータ列に対する変換式が定義されるが、次に時間 $t+1$ より供給されるサンプリングデータ列に対する変換式について述べる。

【 0 0 5 2】

すなわち、その時間 $t+1$ より供給されるサンプリングデータ列は $x(t+1)$

、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ の集合として示されるが、これは時間 t より供給されるデータ列に対し、データ $x(t)$ が削除され、新たなデータ $x(t+N)$ が追加されているため、実数部の変換は次の式 (5) で示されるとともに、その式 (5) は次のように展開される。

【0053】

【数6】

$$\begin{aligned} X_r(k, t+1) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \cos \left[2(n-t-1) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(5)} \\ &= \frac{1}{\sqrt{N}} \left\{ \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\ &\quad \left. + \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\ &= Y_r(k, t+1) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + Y_i(k, t+1) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \end{aligned}$$

【0054】

ここで、

【0055】

【数7】

$$\begin{aligned} Y_r(k, t+1) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(6)} \\ Y_i(k, t+1) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(7)} \end{aligned}$$

【0056】

である。

そこで、最も古いデータである $x(t)$ を削除し、最も新しいデータである $x(t+N)$ を組み入れると、 $X_r(k, t)$ を用いて $Y_r(k, t+1)$ を表すことが可能とな

り、同様に、 $Y_i(k, t+1)$ を $X_i(k, t)$ で表すことも可能となる。

【0057】

その結果、式 (6)、及び式 (7) は次のように書き表わされる。

【0058】

【数8】

$$Y_r(k, t+1) = X_r(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x(t+N) - x(t)] \quad \dots\dots\dots \text{式(8)}$$

$$Y_i(k, t+1) = X_i(k, t) \quad \dots\dots\dots \text{式(9)}$$

【0059】

次に、虚数部の変換式 (4) についても、同様に展開する。

即ち、新しいデータ $x(t+N)$ が供給されるとき、虚数部の変換も同様にして行われる。

【0060】

【数9】

$$X_i(k, t+1) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \sin \left[2(n-t-1) \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式(10)}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{N}} \left\{ \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \sin \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right. \\ \left. - \sum_{n=t+1}^{t+N} x(n) \cos \left[2(n-t) \frac{\pi k}{N} \right] \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right\}$$

$$= Y_i(k, t+1) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] - Y_r(k, t+1) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right]$$

【0061】

従って、式 (8)、及び (9) の関係を基に、式 (5)、及び (10) は次のように書き表すことが出来る。

【0062】

【数 1 0】

$$X_r(k, t+1) = \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x(t+N) - x(t)] \right. \\ \left. \times \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] + X_i(k, t) \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \right\} \\ \dots\dots\dots \text{式 (11)}$$

$$X_i(k, t+1) = X_i(k, t) \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ - \left\{ X_r(k, t) + \frac{1}{\sqrt{N}} [x(t+N) - x(t)] \right\} \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \\ \dots\dots\dots \text{式 (12)}$$

【0 0 6 3】

このようにして、時間 $t+1$ における離散フーリエ変換は、時間 t における離散フーリエ演算結果を再帰的に用いるとともに、新しく取り込んだサンプル値 $x(t+N)$ と削除するサンプル値 $x(t)$ の差のデータ値を用いて式 (11)、及び (12) により計算して求めることができる。

【0 0 6 4】

ここで求められる離散フーリエ変換は、本来的には有限なサンプル数 N に対して処理を行う FIR フィルタ（非巡回形デジタルフィルタ）であるが、前述の式 (11)、及び (12) の変換式からも明らかのように、現サンプリング時間における離散フーリエ変換を前サンプリング時間に求められた離散フーリエ変換結果を用いて導く、IIR フィルタ（巡回形デジタルフィルタ）を用いて実現していることになる。

【0 0 6 5】

この DFT を IIR フィルタにより実現する方法は、その DFT を FIR フィルタで構成するよりも演算のためのハードウェア構成を簡単にすることができるため、以上述べたような変換式により示される再帰型離散フーリエ変換を行う場合は、前述の図 2 に示したようなサンプリング時間間隔で、逐次サンプリングされた新しいデータが供給され、その新しいデータ値を含む最新のデータ列に対して演算効率の高いフーリエ変換を行うことができるものである。

【 0 0 6 6 】

さて、このようにして、 $\cos(2\pi k/N)$ 、及び $\sin(2\pi k/N)$ で示される基底周波数を用いてフーリエ演算を行なうことが出来るが、それらの基底周波数を Γ_c 、 Γ_s （ガンマc、ガンマs）とおき、振幅を示す $1/(Nの平方根)$ をAとおくと式(11)、及び(12)は次のように表せる。

【 0 0 6 7 】

【数 1 1】

$$X_r(k, t+1) = \{X_r(k, t) + A[x(t+N) - x(t)]\}\Gamma_c + X_i(k, t)\Gamma_s$$

.....式 (13)

$$X_i(k, t+1) = X_i(k, t)\Gamma_c - \{X_r(k, t) + A[x(t+N) - x(t)]\}\Gamma_s$$

.....式 (14)

$$\text{ここで、}\Gamma_c = \cos\left[2\frac{\pi k}{N}\right] \quad \Gamma_s = \sin\left[2\frac{\pi k}{N}\right] \quad A = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

【 0 0 6 8 】

このようにして、式(13)、及び(14)を用いてフーリエ変換の演算を行なうことができるが、次にそれを実現する再帰型離散フーリエ変換装置の構成について述べる。

【 0 0 6 9 】

即ち、式(13)は、時刻 $t+1$ におけるフーリエ係数の実数部 $X_r(k, t+1)$ を、時刻 $t+N$ と時刻 t において供給されるデータ $x(k, t+N)$ 、 $x(k, t)$ と、時刻 t のときに求められたフーリエ係数の実数部 $X_r(k, t)$ 、及び虚数部 $X_i(k, t)$ を再帰的に用いることにより、目的とする基底周波数 Γ_c 、及び Γ_s において得られることを示している。

【 0 0 7 0 】

そして、式(14)は、同様にして時刻 $t+1$ におけるフーリエ係数の虚数部 $X_i(k, t+1)$ が得られることを示しており、次にこのような演算式に対応して動

作する再帰型離散フーリエ変換装置について述べる。

【0071】

図3は、その再帰型離散フーリエ変換装置の要部を構成する再帰型離散フーリエ変換回路であり、また図4は図3における基底関数演算処理部を更に詳細に示した図であり、これらの図とともに説明する。

【0072】

図4において、その再帰型離散フーリエ変換回路は、データ更新部1を構成する遅延回路11、及び減算器12と、再帰型DFT演算部を構成する複数の乗算器31～35、及び複数の加算器36～38と、メモリ部を構成する遅延回路41、及び42とより構成される。

【0073】

次に、この様に構成される再帰型離散フーリエ変換回路の動作について説明する。

まず、供給される入力信号は図示しないサンプリング回路により間隔が一定である時刻 t 、 $t+1$ 、 $t+2$ 、 $t+3$ 、 \dots 、 $t+N-1$ 、 $t+N$ (N は自然数)において供給される入力信号のサンプリングを行ない、その時刻における入力信号のレベルをサンプリング値としてデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ とされた離散データがデータ更新部1に供給される。

【0074】

データ更新部1では、供給されるデータの一方は遅延器11に、他の一方は減算器12に供給される。遅延器11は N サンプリングクロックの期間に相当する時間、信号を遅延させる。

即ち、遅延器11は最新に供給されるデータ数 N 個のデータを更新しつつ一時記憶する機能を有している。

【0075】

ここで、供給されるデータが $x(t)$ より開始され、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ のように供給されるとき、遅延器11は供給されたデータ $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ の全てを一時記憶し、その一時記憶の動作はデー

タ $x(t+N-1)$ が入来するまで継続し、 $x(t+N-1)$ のデータが入来した段階で総データ数は N 個となり、遅延器 1 1 のデータ領域がフルとなる。

【0 0 7 6】

このような状態で、次のデータ $x(t+N)$ が供給されるときは、総データ数が $N+1$ となるため、遅延器 1 1 は最も古いデータ $x(t)$ を減算器 1 2 に供給し、減算器 1 2 は、供給されるデータ $x(t+N)$ よりその最も古いデータ $x(t)$ を減算し、減算して得られる $[x(t+N) - x(t)]$ を再帰型 D F T 演算部 3 に供給する。

【0 0 7 7】

その再帰型 D F T 演算部 3 では、このようにして供給される信号の乗算、及び加算を行う。

まず、乗算器 3 1 では供給される信号 $[x(t+N) - x(t)]$ には前述の定数値 A が乗算され、乗算された信号は加算器 3 6 に供給される。

【0 0 7 8】

その加算器 3 6 では、乗算器 3 1 より供給された信号と、この再帰型離散フーリエ演算回路の出力信号の実数部が遅延器 4 1 により 1 サンプリグ期間分遅延された信号とが供給されて加算され、加算された信号はそれぞれの乗算器 3 2 と 3 3 に供給される。

【0 0 7 9】

その一方の乗算器 3 2 では、供給された信号に基底周波数 $\Gamma c = \cos(2\pi k/N)$ が乗じられ、乗じて得られる信号は加算器 3 7 の一方の入力信号として供給され、もう一方の乗算器 3 3 では、供給された信号に基底周波数 $-\Gamma s = -\cos(2\pi k/N)$ が乗じられ、乗じて得られる信号は加算器 3 8 の一方の入力信号として供給される。

【0 0 8 0】

前述の加算器 3 7 の、他方の入力信号としては、この再帰型離散フーリエ演算回路の出力信号の虚数部が遅延器 4 2 により 1 サンプリグ期間分遅延された信号の一方を乗算器 3 4 により $\Gamma s = \cos(2\pi k/N)$ を乗じた信号として供給され、前述の加算器 3 8 の他方の入力信号としては、その遅延器 4 2 により 1 サンプ

リング期間分遅延された信号の他方を乗算器 3 5 により $\Gamma c = \cos(2\pi k/N)$ が乗じられた信号が生成され、その生成された信号が供給される。

【0081】

このようにして加算器 3 7 により加算された信号は、この再帰型離散フーリエ演算回路の出力信号の実数部信号 $X_r(k, t+1)$ として供給されるとともに、その信号の一部は再帰信号として前述の遅延回路 4 1 に供給され、また加算器 3 8 により加算された信号は、この再帰型離散フーリエ演算回路の出力信号の虚数部信号 $X_i(k, t+1)$ として供給されるとともにその信号の一部は再帰信号として前述の遅延回路 4 2 に供給されるようになされている。

【0082】

ここで、乗算器 3 2 ~ 3 5 に与えられたそれぞれの乗算用係数 Γc 、及び Γs は前述の図 1 に示した基底周波数設定部 2 により設定され、この再帰型離散フーリエ演算回路はその設定された周波数に基づいて、目的とする解像度に従って N が設定され、その N に従った離散フーリエ変換の係数が演算されて、出力されるものである。

【0083】

このようにして、供給されるデータ列 $x(t)$ 、 $x(t+1)$ 、 $x(t+2)$ 、 $x(t+3)$ 、 \dots 、 $x(t+N-1)$ 、 $x(t+N)$ に対する複素フーリエ変換結果 $X_r(k, t+1) - j X_i(k, t+1)$ を得ることができる。

【0084】

なお、上述の式 (11)、(12) において、 $\cos(2\pi k/N)$ 及び $\cos(2\pi k/N)$ をそれぞれ Γc 、 Γs とおいて、前述の図 4 に示す再帰型 DFT 演算回路の動作について述べたが、これらの Γc 、及び Γs は基底周波数を示すものであり、その図 4 に示す再帰型 DFT 演算回路は 1 つの k により定められる基底周波数に対する DFT 演算を行なうモジュールであるので、そのモジュールを N 個並列に接続して N ポイントの全ての基底周波数に対する DFT 演算回路を構成することができる。

【0085】

図 5 に、 N 個の基底周波数を用いる演算モジュールにより構成する N ポイント

の再帰型 D F T 演算器の構成を示す。

同図に示す、それぞれのモジュールにおける Γ_c 、及び Γ_s は、

【 0 0 8 6 】

【 数 1 2 】

$$\Gamma_c = \cos \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式 (15)}$$

$$\Gamma_s = \sin \left[2 \frac{\pi k}{N} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式 (16)}$$

【 0 0 8 7 】

であり、その N ポイント再帰型 D F T 演算器の各モジュールの Γ_c 、及び Γ_s における k の値は、 $0 \leq k \leq N-1$ である N 個の異なる基底周波数となるように設定されている。

これにより、N ポイントのフーリエ変換を並列演算により処理する再帰型 D F T 演算部を実現できる。

【 0 0 8 8 】

このようにして実現される再帰型 D F T 演算部における演算は、前述の式 (11)、及び (12) により、サンプリング期間 t_s 毎に行われ、その演算に用いられる k の値を、 $0 \sim N-1$ と変化させることにより、各基底周波数におけるフーリエ変換結果を得ることができる。

【 0 0 8 9 】

そして、これらの変換式を用いて行う再帰型 D F T 演算は、所定の特定ポイントのフーリエ変換値を算出するために、他のポイントのフーリエ変換値を用いることなく、即ち相互に依存することなく、独立にフーリエ変換値を得ることができる。

【 0 0 9 0 】

このように、独立して、所定の周波数におけるフーリエ変換値を求めることができることは、例えば特定の周波数ポイントに着目する場合、即ち、k を特定の

値に選定する場合、前述の式(11)、及び(12)の中に示されている三角関数の式の値は定数となる。

【0091】

このことを従来のDFT演算と比較するに、従来のDFTの定義が前述の式(1)により行われ、基底関数を示す三角関数の値が k の値とともに変化するバタフライ演算を用いて行われるため、従来のFFTでは特定のポイントの算出は難しいが、ここに示した再帰型DFT演算による方法では、三角関数で示される式の値が定数であるため、特定のポイントに対するフーリエ係数の算出が容易である特徴を有する点で異なっている。

【0092】

この様に、この回帰型DFTは、周波数解析すべき周波数に対応する k の値を選定することにより、選定した周波数ポイントにおけるDFT変換結果を簡単な演算により得ることが出来る。

【0093】

さらにまた、フーリエ解析を所望する基底周波数のみを選択して行なうことができるため、従来のFFTのように取り扱うポイント数が2の指数ポイント(2のべき乗で示される値; 2、4、8、16、32、64、128、・・・・・・)に制限されることはなく、任意のポイント数を指定してフーリエ解析を行なうことができる。

【0094】

次に、このようにしてなされる演算モジュールが並列に配置される再帰型DFT演算回路の構成について述べる。

前述の図5に示した N ポイントの再帰型フーリエ変換における演算は、並列に並べられた N 個のモジュール全てにおいて全く同一の動作を行う構成個所が存在し、その同一の動作を行う部分を共通化したフーリエ変換回路を構成することができる。

【0095】

図6に、モジュールの一部を共用化した N ポイント再帰型DFT変換器の構成を示す。

同図におけるDFTは、前述の図5に示したモジュールに対して、同一の動作を行う部分を共通化し、共通でない部分をサブモジュールとして構成したものである。

【0096】

即ち、モジュールを構成する前述の図4の再帰型DFT変換回路において、サンプリングされて供給されるデータをNサンプル分蓄積する遅延器11と、サンプリングされて供給されるデータ値から遅延器11に一時記憶されている最も古いデータ値との減算を行う減算器12と、減算器12から供給される信号に所定の係数Aを乗算する乗算器31の構成部分が共通に用いられている。

【0097】

サブモジュール1～(N-1)のそれぞれは、モジュール1～(N-1)に対して、これらの共通な構成部分が除かれた構成のものであり、それぞれのサブモジュール1～(N-1)は、共通の遅延器11、減算器12、及び乗算器31より供給される信号を共用して使用し、回路規模の縮小、小型化、及び省電力化を図っている。

【0098】

以上、再帰型離散フーリエ変換装置について述べたが、信号形式の変換を逆に行う装置として再帰型逆離散フーリエ変換装置がある。

即ち、ここで述べた再帰型離散フーリエ変換装置は時系列データを周波数系列のデータに変換する装置であるが、再帰型逆離散フーリエ変換装置は周波数系列データを時系列のデータに変換する装置であり、ここに述べた装置の構成方法を応用して再帰型逆離散フーリエ変換装置を実現することが出来る。

【0099】

そして、周波数系列のデータを再帰型逆離散フーリエ変換装置により時系列データとして生成し、生成された時系列データを再帰型離散フーリエ変換装置により周波数系列のデータに変換するときは、両者が相対応するパラメータを利用して変換を行う場合は、元の周波数系列データが再現される。

【0100】

そのパラメータとは、前述の式(13)、及び式(14)においてAとして示した

振幅値を規定する数値などであり、この数値としては1、N、又はNの平方根などの値が割り付けられて用いられる。

【0101】

即ち、パラメータとして例えば数値aが用いられて再帰型逆離散フーリエ変換がなされて生成されたデータを、再帰型離散フーリエ変換に供給するようにして対称的な信号変換、信号再変換を行う場合は、そのときに用いられるフーリエ逆変換のパラメータaに対応するパラメータAを用いてフーリエ変換を行なうと変換前のデータを得ることが出来る。

【0102】

そのa、及びAにより与えられる信号の振幅が、フーリエ逆変換側で与えられる値が1のときはフーリエ変換側ではNとし、フーリエ逆変換側がNのときはフーリエ変換側は1とし、そしてフーリエ逆変換側がNの平方根によるときはフーリエ変換側でもNの平方根に基づく振幅を与えるようにすると、フーリエ逆変換を行なった信号をフーリエ変換することにより変換前のデータを得ることが出来る。

【0103】

この関係を前述の式(11)、及び(12)を元にして述べるに、これらの式において振幅を示す

【0104】

【数13】

$$\frac{1}{\sqrt{N}}$$

【0105】

をAとにおいて、図4に示す再帰型DFT変換回路について述べたが、この値は、DFTの定義を前述の式(2)で行い、導入したものであり、本来はDFTとそれと対になるIDFTとの振幅調整のために存在する係数である。

【0106】

従って、再帰型DFTにおける定数Aは、それに対応するIDFT側の定数a

に対応する値として、

【0107】

【数14】

$$\frac{1}{\sqrt{N}}$$

【0108】

以外に1、又は $1/N$ などのIDFT側と相補的な関係にある都合のよい値を適宜選択して乗算器3を構成するようにする。

【0109】

このようにして構成されるフーリエ逆変換をOFDM（直交周波数分割多重変調）信号の生成装置に、そしてフーリエ変換をOFDM信号受信装置に使用するようにして、フーリエ逆変換によりデジタル変調されて送信される信号を生成し、受信側では送信された信号をフーリエ変換を用いて復号するようにし、そのときに用いられる振幅を定める定数 a 、及び A は、前述のような相対応する値に設定すればよい。

【0110】

しかし、実際にこのようにして生成され、伝送されるOFDM信号はその経路中で振幅値（伝送される信号の利得）を変動させる要因が多くあるため、離散フーリエ変換時の振幅値は逆離散フーリエ変換時の値にほぼ対応している程度で良く、離散フーリエ変換における A の値は組み込みやすい値を適宜選択して設定すればよいことになる。

【0111】

以上、式(11)及び、(12)により導かれる離散フーリエ変換、及びその応用としての逆離散フーリエ変換について述べた。

これらのフーリエ係数を求める式は、 N サンプル離れた2つのデータ値の差と、1サンプルクロック前に求められたフーリエ係数値に対して基底周波数の正弦値、及び余弦値を用い、単純な形でフーリエ係数値を求めることが出来る。

【0112】

そして、式 (13) 及び、(14) により導かれる離散フーリエ変換に用いられている基底周波数の余弦値 Γ_c 、及び正弦値 Γ_s は、お互いに直交している関数を用いることにより再帰型 DFT 変換装置を構成できることを示しており、例えば Γ_c と Γ_s を入れ替えるなど、その他のお互いに直交する関数を用いて同様な分析手法を実現することができる。

【0113】

そのときは、再帰的信号として使用するフーリエ係数の実数部と虚数部の関係、及びそれぞれの信号の極性についても、フーリエ係数が可能な限り単純な形で求められるようにお互いの組み合わせを定め、その定められた手法によりフーリエ係数を導き出すようにする必要がある。

【0114】

【発明の効果】

請求項 1 記載の発明によれば、供給される N 個のサンプルよりなるデータ列に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値より、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値を減算して減算値を求めると共にその最も古いサンプルを削除し、その減算値と既に求めた複素フーリエ演算結果を基にして 1 サンプルずつ新しくされた N 個のサンプルに対する離散フーリエ演算結果を得ることができるので、従来の様に N サンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのとは異なり、1 サンプル期間内に必要とする解析解像度を与えるポイント数 N における高速フーリエ演算結果を得る再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【0115】

また、請求項 2 記載の発明によれば、供給される N 個のサンプルよりなるデータ列に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値と、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値と、既に求めた複素フーリエ演算結果とを基にして、所定の演算式により演算することにより 1 サンプルずつ新しくされた N 個のサンプルに対する離散フーリエ演算結果を求めることができるので、従来の様に N サンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのとは異なり、1 サンプル期間内に必要とする解析解像度を与

えるポイント数Nにおける高速フーリエ演算結果を得る再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【0116】

また、請求項3記載の発明によれば、供給されるN個のサンプルよりなるデータ列に対して複数の基底周波数に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値より、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値を減算して減算値を求めると共にその最も古いサンプルを削除し、その減算値と既に求めた複素フーリエ演算結果を基にして1サンプルづつ新しくされたN個のサンプルに対し、複数の基底周波数に対する離散フーリエ演算結果を得ることができるので、従来の様にNサンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのと異なり、1サンプル期間内に、複数の基底周波数に対するフーリエ演算結果を得る高速に動作する再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【0117】

また、請求項4記載の発明によれば、供給されるN個のサンプルよりなるデータ列に対して複数の基底周波数に対して複素フーリエ変換を行い、次に供給される新しいサンプルのサンプル値より、既に複素フーリエ変換を行うために使用した最も古いサンプル値を減算して減算値を求めると共にその最も古いサンプルを削除し、その減算値と既に求めた複素フーリエ演算結果を基にして1サンプルづつ新しくされたN個のサンプルに対し、複数の基底周波数に対する離散フーリエ演算結果を得るに際して、第1の一次記憶手段、減算部、及び定数乗算部を共通に使用することができるので、従来の様にNサンプルのデータが供給されてからフーリエ演算を行うのと異なり、1サンプル期間内に、複数の基底周波数に対するフーリエ演算結果を得る高速に動作するハードウェアの共用化により簡略化された構成の再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【0118】

また、請求項5記載の発明によれば、請求項3、及び4の効果に加え、特にN個の全ての基底周波数に対するフーリエ演算結果を得る高速に動作する再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【0119】

また、請求項6記載の発明によれば、請求項1、2、3、及び4の効果に加え、特に正の定数値 A を1、 N 、又は N の平方根などの値を適宜選択して設定したFFTにより演算処理を行なうことが出来るので、例えば通信装置に用いられ、伝送すべき情報信号をIFFT（逆高速フーリエ変換）変換処理して時系列信号に変換してその時系列信号を伝送するような場合、その伝送された信号をFFTに供給してFFT演算を行うことにより情報信号を再生するようなフーリエ演算装置において、そのIFFT演算に使用された、例えば1、 N 、又は N の平方根の数である a の定数値に対応する定数値 A をFFT演算処理回路に用い、前記IFFTと相補的に動作するFFTを構成して前記情報信号を復号することが出来るなど、相対応する系から供給される信号に対しても、その系でのIFFT演算に使用された a に対応する定数値 A を用いることにより、品質の良い特性を有する再帰型フーリエ変換装置を構成することが出来る効果を有している。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置の概略構成を示す図である。

【図2】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置に供給される信号波形をサンプリングして得られるデータ値と、それに対するDFT演算の関係を模式的に示した図である。

【図3】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置の構成を示した図である。

【図4】

本発明の実施例に関わる再帰型離散フーリエ変換装置の構成を詳細に示した図である。

【図5】

本発明の実施例に関わる N ポイントの基底周波数に対するフーリエ係数を演算

する再帰型離散フーリエ変換装置の構成を示す図である。

【図 6】

本発明の実施例に関わる N ポイントの基底周波数に対するフーリエ係数を演算する再帰型離散フーリエ変換装置の構成を示す図である。

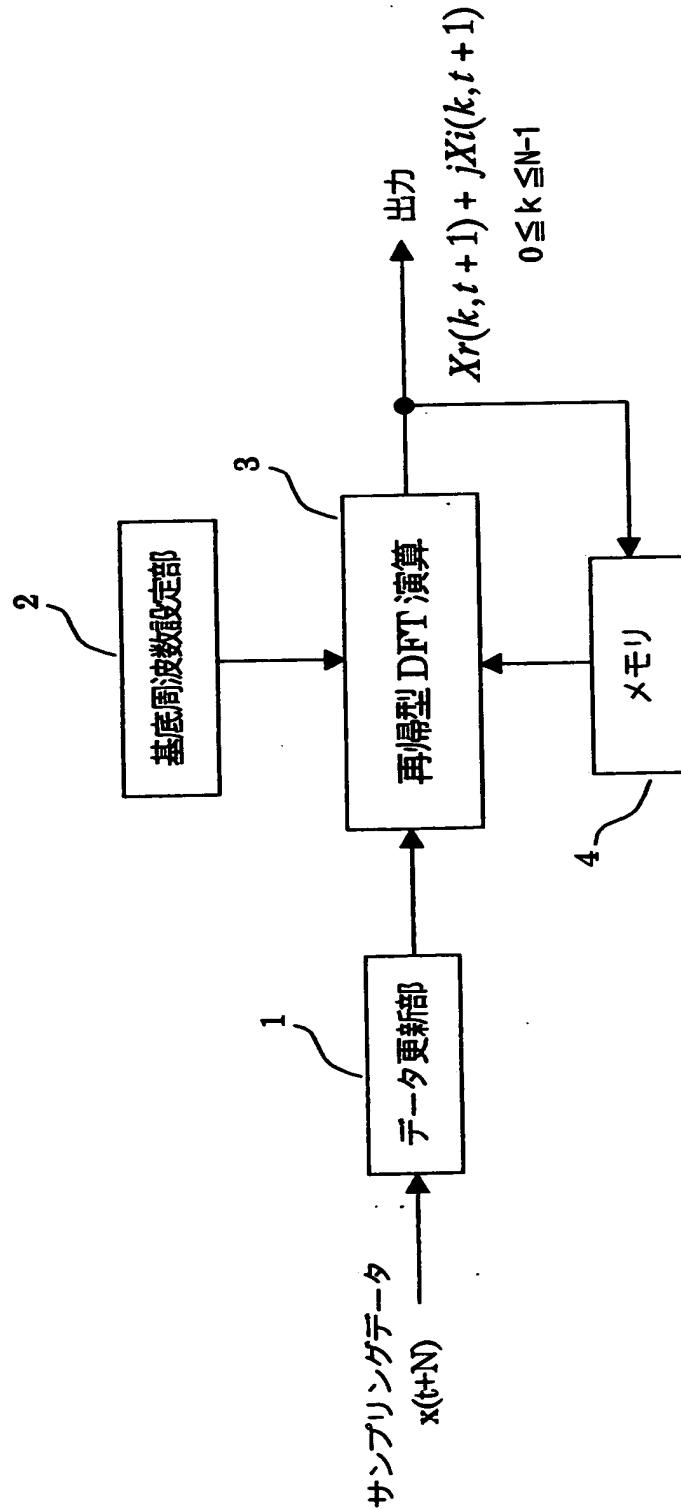
【符号の説明】

- 1 データ更新部
- 2 基底周波数設定部
- 3 再帰型 D F T 演算部
- 4 メモリ部
- 1 1 一時記憶部
- 1 2 減算部
- 3 0 基底関数演算処理部
- 3 1 定数乗算部
- 3 2 ~ 3 5 乗算部
- 3 6 ~ 3 8 加算部
- 4 1 一時記憶部
- 4 2 一時記憶部

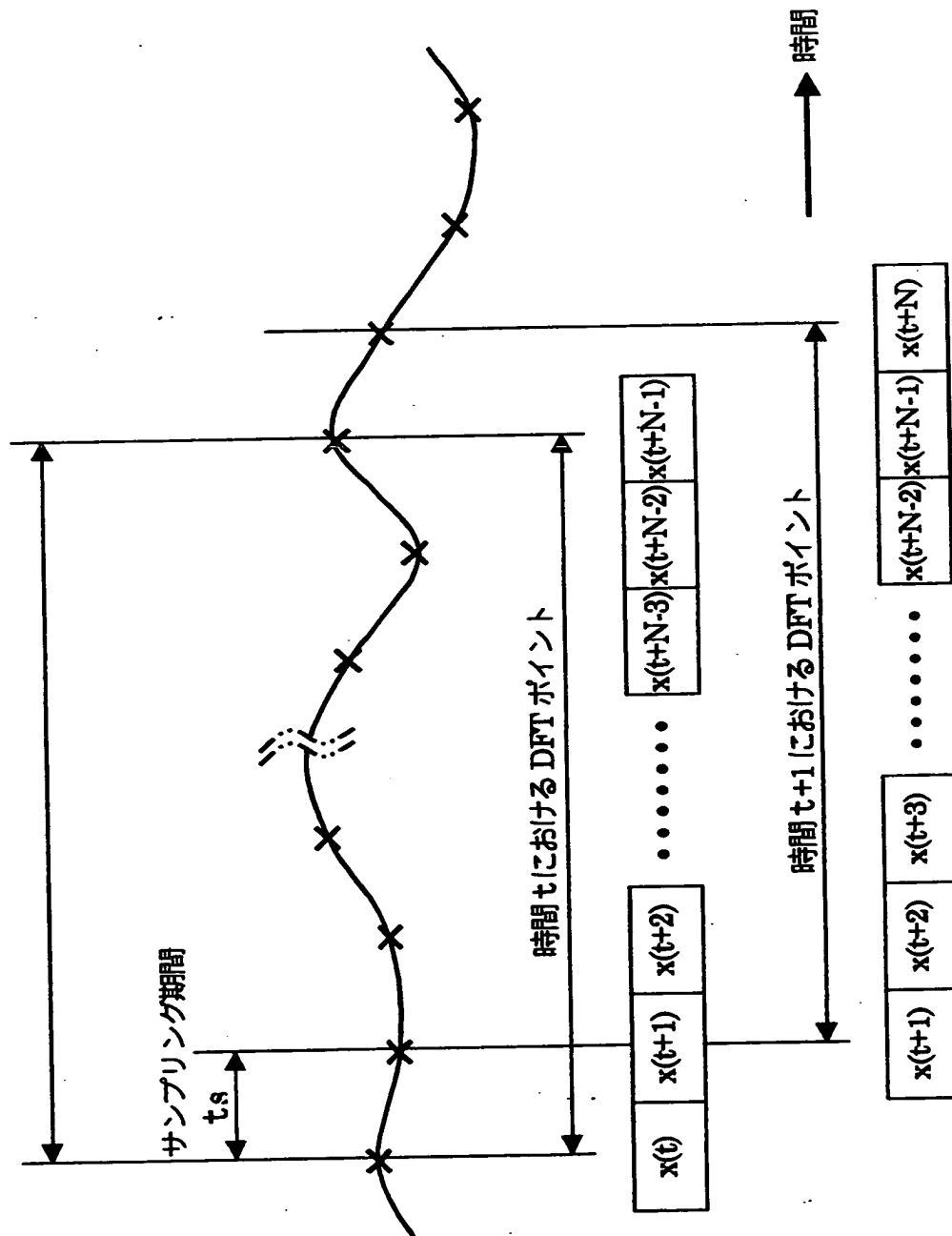
【書類名】

図面

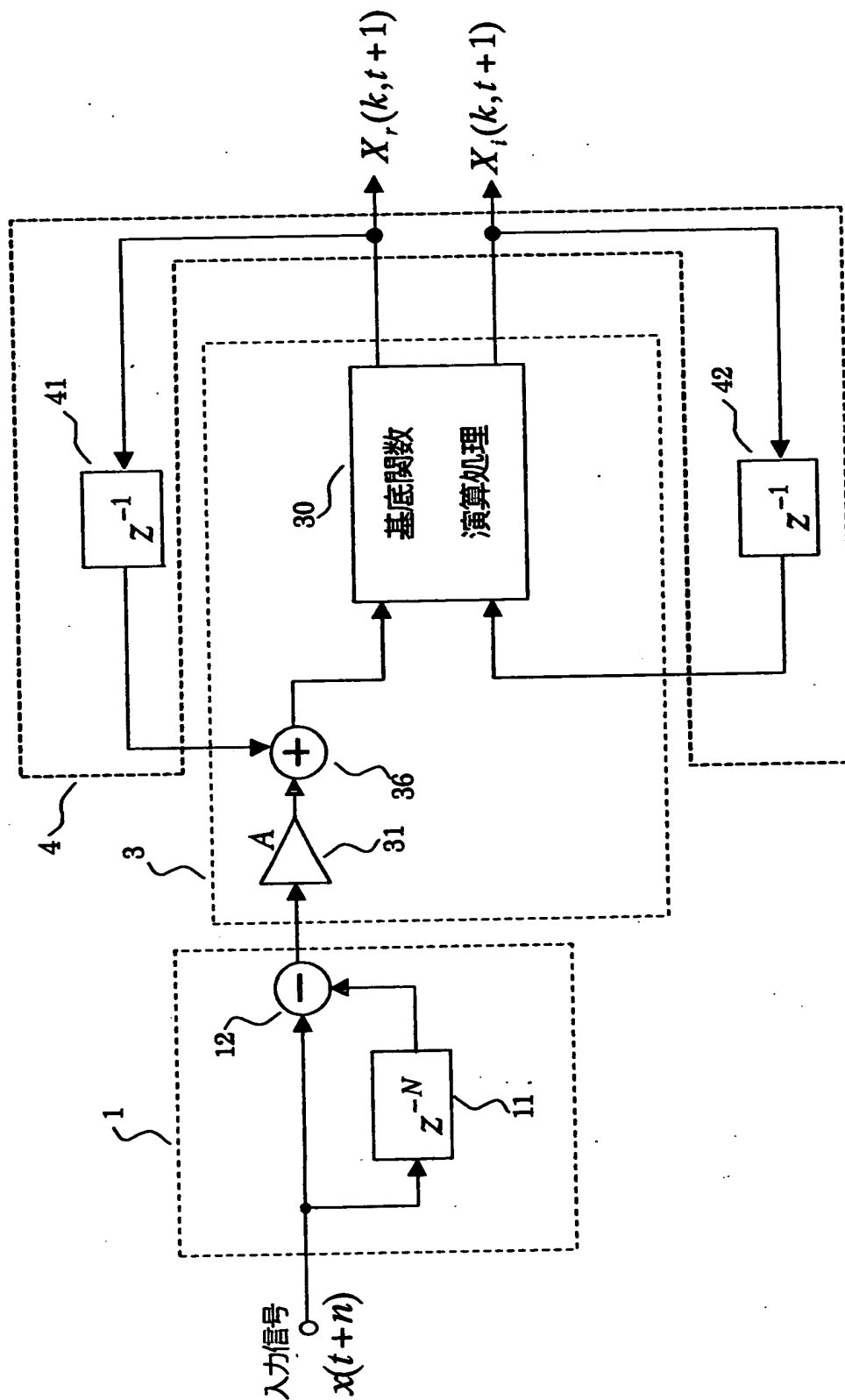
【図 1】



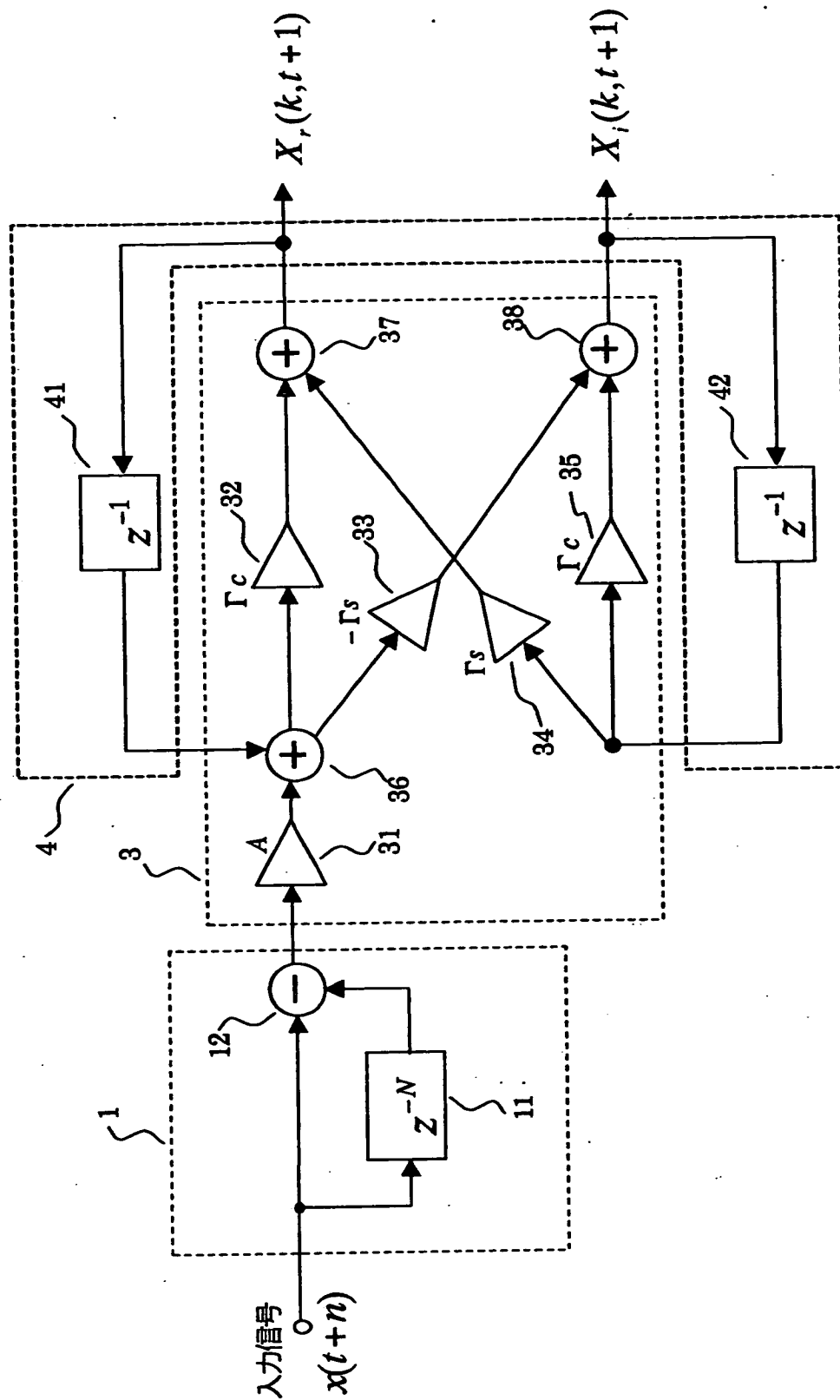
【図2】



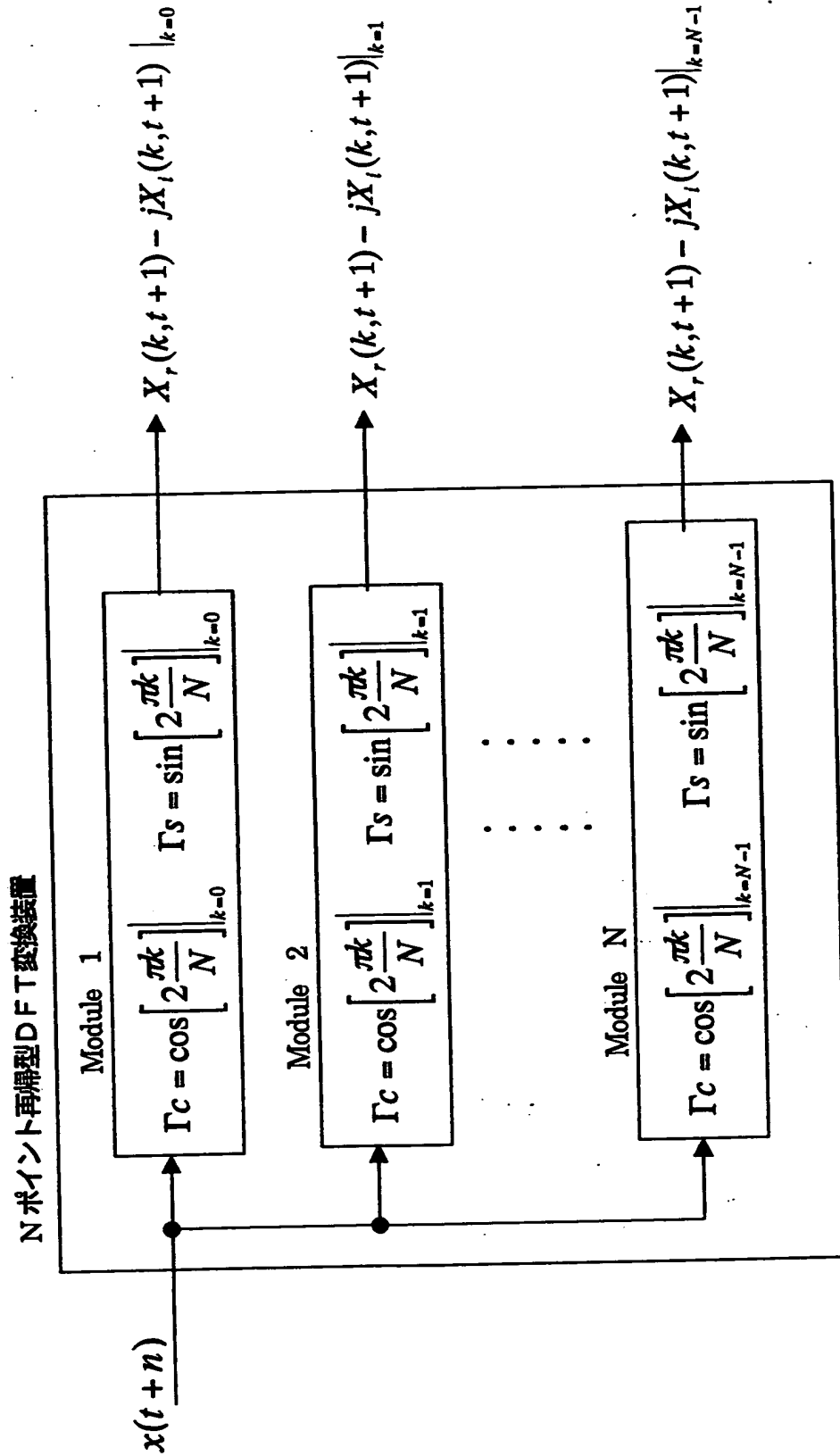
【図3】



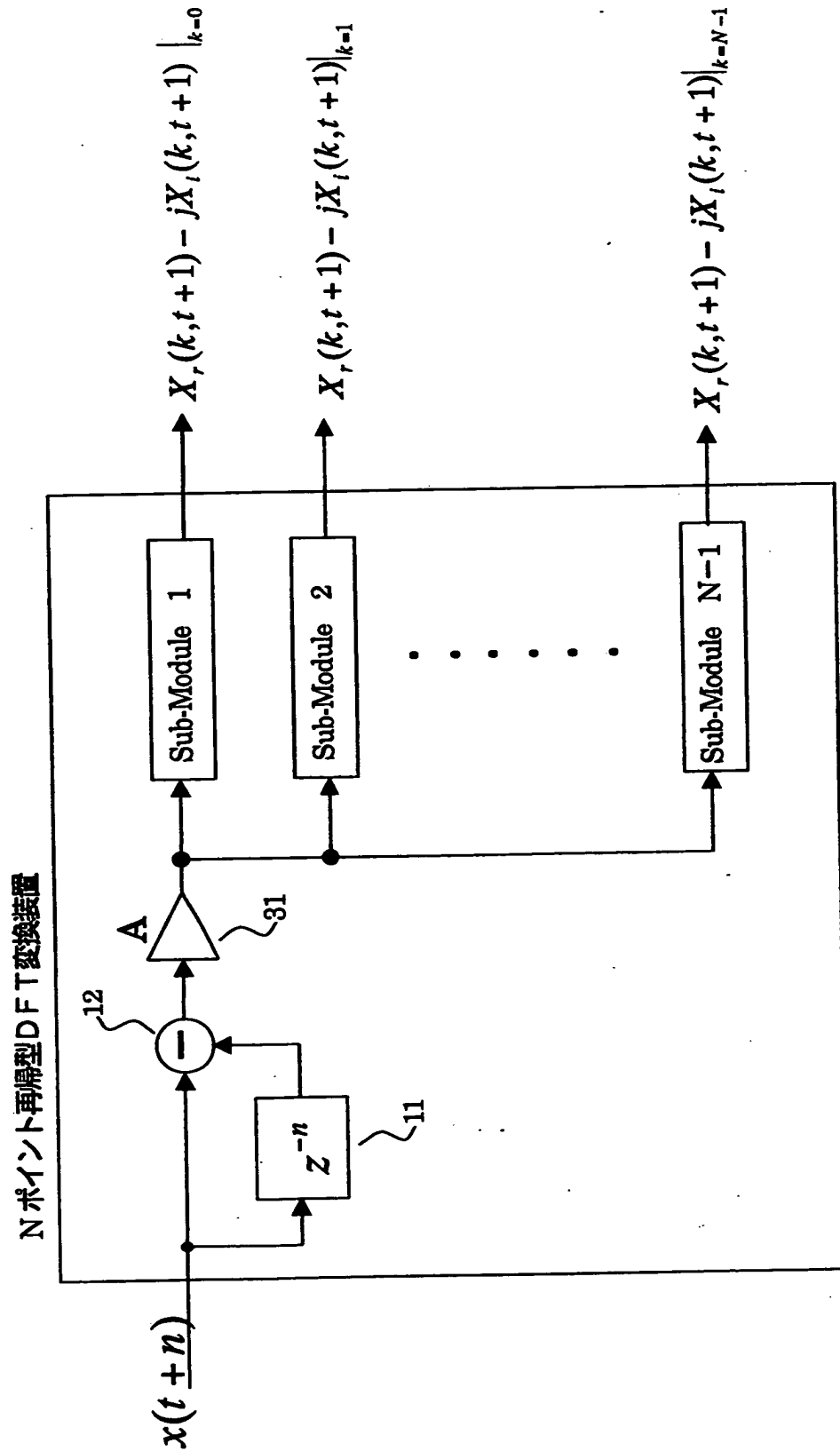
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 逐次供給される、サンプリングデータを含むデータ列のフーリエ変換処理を、1 サンプリング期間内で高速に行うことにある。

【解決手段】 フーリエ変換装置に関し、逐次供給されるデータのうち、最新のN個のデータを取得し古いデータは削除するようにして一時記憶するに際し、直近に供給されたデータ値と削除するデータ値の差の値をデータ更新部1より供給し、この供給されたデータ値と、メモリ部3に一時記憶された直近のFFT演算結果とを再帰型DFT演算部3に供給し、これらの値を所定の方法により演算して最新のN個のデータ値に対するFFT演算結果をリアルタイムに出力するようにした。

【選択図】 図3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004329]

1. 変更年月日 1990年 8月 8日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地

氏 名 日本ビクター株式会社